

**PERMODELAN ALIRAN AIR TANAH PADA AKUIFER TERTEKAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODA BEDA HINGGA
(FINITE DIFFERENCE METHOD) DI KECAMATAN KERTAJATI,
KABUPATEN MAJALENGKA**

Roh Santoso Budi Waspodo

ABSTRAK

Air tanah dalam adalah air yang terdapat pada suatu lapisan tertentu yang berada didalam tanah baik sebagai ruang antar butiran batuan ataupun pada rekahan batuan. Jadi ruang antar butir, rongga batuan serta rekahan pada batuan. Air tanah dalam ini dapat bergerak secara lateral maupun vertikal yang dipengaruhi oleh keadaan morfologi, hidrologi, dan keadaan geologi setempat. Pengaruh faktor geologi antara lain adalah bentuk dan penyebaran besar butir, perbedaan dan penyebaran lapisan batuan dan struktur geologi.

Untuk menentukan potensi airtanah melalui parameter-parameter akuifer di daerah penelitian dapat didekati dengan menggunakan analisis numerik dengan metode beda hingga (finite difference method).

Kata kunci : permodelan aliran, airtanah, akuifer dan beda hingga

PENDAHULUAN

Penyediaan air bersih di suatu daerah mutlak dilakukan baik saat ini maupun saat mendatang. Penyediaan air bersih ini dapat memanfaatkan potensi air permukaan yang ada di suatu daerah, yang kemudian diolah sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan standar kesehatan. Namun jika air permukaan pada suatu daerah kurang ekonomis untuk dikembangkan atau secara kuantitas tidak memadai, disamping secara kuantitas dan kualitas air permukaan cenderung menurun. Di sisi lain kecenderungan bertambahnya populasi mengakibatkan peningkatan terhadap keperluan air minum/domestik, maka salah satu alternatif pemecahan masalahnya adalah dengan memanfaatkan potensi air tanah dalam.

Air tanah dalam adalah air yang

terdapat pada suatu lapisan tertentu yang berada didalam tanah. Air tanah dalam ini terdapat dalam ruang antar butiran batuan ataupun pada rekahan batuan. Jadi ruang antar butir, rongga batuan serta rekahan pada batuan merupakan tempat untuk menyimpan dan mengalirkan air tanah dalam. Air tanah dalam ini dapat bergerak secara lateral maupun vertikal yang dipengaruhi oleh keadaan morfologi, hidrologi, dan keadaan geologi setempat. Pengaruh faktor geologi antara lain adalah bentuk dan penyebaran besar butir, perbedaan dan penyebaran lapisan batuan dan struktur geologi.

Untuk menentukan potensi airtanah melalui parameter-parameter akuifer di daerah penelitian dapat didekati dengan menggunakan analisis numerik dengan metode beda hingga (finite difference method).

TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum perubahan laju aliran pada sumbu x dan z adalah seperti di atas, sehingga total perubahan laju aliran sama dengan perubahan penyimpanan dan persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - W \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\text{perubahan}}{\text{penyimpanan}} \quad (1)$$

dimana:

∂q_x , ∂q_y dan ∂q_z = perubahan flux pada arah sumbu x, y dan z

∂x , ∂y dan ∂z = perubahan satuan panjang pada sumbu x, y dan z

W = pengisian atau pemompaan per satuan luas (LT-1)

x, y dan z = arah koordinat

Perubahan penyimpanan dapat diketahui dengan specific storage (Ss) yang didefinisikan dengan besarnya volume air yang meninggalkan penyimpanan per unit perubahan head per unit perubahan volume dari akuifer. Secara matematis besarnya Ss adalah sebagai berikut:

$$Ss = \frac{\Delta V}{\Delta h \Delta x \Delta y \Delta z} \quad (2)$$

dimana,

Ss = specific storage (LT-1)

ΔV = perubahan volume (L 3T-1)

Besarnya laju perubahan penyimpanan pada REV adalah:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -Ss \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (3)$$

dimana,

Δt = perubahan waktu (T-1)

Kombinasi Persamaan (II.1) dan (II.3) dibagi dengan Δx , Δy , Δz , maka hasil akhir persamaan kesetimbangan air adalah:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - W = Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4)$$

Persamaan ini sedikit sekali penggunaannya, karena q tidak dapat diukur secara langsung. Dengan mensubstitusikan persamaan Darcy, maka persamaan pengatur aliran airtanah menjadi:

$$\frac{\partial(-K_x \frac{\partial h}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(-K_y \frac{\partial h}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial(-K_z \frac{\partial h}{\partial z})}{\partial z} - W = -Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

dimana,

Kx, Ky dan Kz = konduktivitas hidrolik pada arah koordinat x, y

dan z (LT-1)

h = tinggi muka airtanah (L)

t = waktu (T)

Ss = daya simpan khas (LT-1)

W = pengisian atau pemompaan per satuan luas (LT-1)

∂x , ∂y dan ∂z = perubahan satuan

panjang pada arah koordinat x,y dan z

x, y dan z = arah koordinat

Pada akuifer yang homogen dan isotropis, yaitu nilai K (konduktivitas hidrolik) bukan sebagai fungsi dari arah aliran, maka persamaan di atas menjadi :

$$K \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) - W = Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6)$$

Pada akuifer tertekan yang homogen dan ketebalan akuifer yang seragam, maka digunakan nilai T (transmisivitas) dan S (koefisien daya simpan), sehingga Persamaan (II.33) menjadi:

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) - \frac{W \cdot b}{T} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (7)$$

dimana,

T = transmisivitas (L²T⁻¹)
h = tinggi muka airtanah (L)
t = waktu (T)
S = koefisien daya simpan
W = pengisian atau pemompaan per satuan luas (LT⁻¹)
b = tebal akuifer (m)
 ∂x , ∂y dan ∂z = perubahan satuan panjang pada arah koordinat x, y, dan z
x, y dan z = arah koordinat

Persamaan pengatur dua dimensi pada akuifer tertekan, isotropis, homogen dan adalah :

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right) - \frac{W \cdot b}{T} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (8)$$

Aliran tunak (steady state) dan tidak tunak (unsteady state)

Aliran tunak terjadi apabila ada keseimbangan antara air yang keluar dan masuk dari atau akuifer. Keadaan ini dapat ditunjukkan jika head pizometrik atau muka airtanah relatif tidak berubah terhadap pertambahan waktu dan hanya dapat diamati pada uji pemompaan sampai tahap stabil tercapai. Pada aliran tunak nilai $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$, dengan demikian persamaan pengaturnya adalah:

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right) - \frac{W \cdot b}{T} = 0 \quad (9)$$

dimana,

T = transmisivitas (L²T⁻¹)
h = tinggi muka airtanah (L)
W = debit pemompaan per satuan luas (LT⁻¹)
 ∂x dan ∂y = perubahan satuan panjang pada arah x dan y

METODOLOGI

Menurut Anderson dan Woessner (1992), kerangka pembuatan model adalah sebagai berikut:

- Menentukan kegunaan dari model.
- Membuat model konsep.
- Pemilihan persamaan matematika dan pembuatan program komputer. Kedua pekerjaan ini harus diuji. Persamaan matematis yang dipilih harus dapat menggambarkan proses fisika, kimia dan biologi yang terjadi. Sedangkan hasil pemrograman komputer diuji dengan membandingkan dengan penyelesaian analitik.
- Perancangan model.
- Pekerjaan yang termasuk dalam tahap ini adalah pemilihan rancangan grid, parameter waktu, kondisi awal dan batas, dan membuat estimasi parameter-parameter model.
- Kalibrasi rancangan model. Kalibrasi ditujukan agar model yang dibuat dapat menghasilkan nilai yang mendekati data lapangan.
- Menentukan efek ketidaktentuan dari hasil model. Hal ini kadang-kadang disebut dengan analisis sensitivitas. Parameter-parameter model bervariasi dalam selang nilai yang mungkin, dan efek dari hasil model dievaluasi.
- Pemeriksaan terhadap model yang telah dirancang dan dikalibrasi. Pada tahap ini termasuk pengujian kemampuan model dalam menghasilkan serangkaian pengukuran lapangan dengan menggunakan parameter-parameter model yang telah ditentukan dalam proses kalibrasi.
- Memprediksi hasil model yang telah dikalibrasi.
- Menentukan efek ketidaktentuan dari hasil prediksi model.
- Menampilkan rancangan model dan hasilnya.

- Melakukan pemeriksaan terakhir dan rancang ulang model sesuai dengan kebutuhan. Seperti pembandingan hasil prediksi model dengan data baru yang diperoleh selama pembuatan model sedang berlangsung. Hal ini memungkinkan untuk melakukan modifikasi lebih lanjut dari model yang telah dibuat.

Simulasi dari permodelan airtanah dilakukan baik pada kondisi tunak dengan tujuan untuk mendapatkan nilai K (konduktivitas hidrolis) yang terkalibrasi. Simulasi aliran airtanah pada kondisi tidak tunak diperoleh nilai-nilai Ss (daya simpan khas) dan resapan (recharge). Nilai-nilai ini yang akan digunakan sebagai pembatas dalam model optimasi pemanfaatan airtanah. Perangkat lunak yang digunakan dalam simulasi ini terdiri dari: Processing Modflow Versi 3.0, Surfer Versi 5.0 dan Visual Modflow Versi 2.6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta hidrogeologi (lembar Arjawinangun) menunjukkan bahwa akuifer daerah penelitian merupakan aliran melalui ruang antar butir dengan tingkat produktivitas sedang dan mempunyai penyebaran luas.

Berdasarkan hasil pemboran dan litologi, menunjukan bahwa akuifer yang terdapat di daerah penelitian terdiri dari: akuifer bebas dan akuifer tertekan. Akuifer bebas merupakan akuifer airtanah dangkal berada pada kedalaman antara 8 – 16 meter dari permukaan tanah dan dimanfaatkan penduduk untuk kepentingan sehari-hari. Daerah penelitian mempunyai akuifer tertekan dengan lapisan kedap atas berupa lempung coklat, pada umumnya material penyusun akuifer berupa pasir dan lempung pasir.

Lapisan akuifer airtanah yang disadap oleh sumur-sumur irigasi di daerah penelitian umumnya lebih dari

satu yaitu dua sampai tiga lapisan. Kedalaman akuifer yang disadap kurang dari 100 meter dari permukaan tanah, dimana akuifer terdangkal berkisar antara 25 – 35 meter dan akuifer terdalamnya berkisar antara 80 – 100 meter dari permukaan tanah.

Berdasarkan hasil pengukuran, head airtanah di daerah penelitian berkisar antara 18,29 m pada TW-135 sampai 37,86 m dari permukaan laut pada TW-124, data pengukuran selengkapnya disajikan pada Tabel IV.3. Secara interpolasi dengan menggunakan perangkat lunak surfer versi 5.0 diperoleh kontur dari head airtanah, dimana head airtanah antara 20 sampai 38 meter dari permukaan laut. Head 20 meter berada di sebelah Utara dan 38 meter dari permukaan air laut berada di sebelah Baratdaya dan Tenggara daerah penelitian, sehingga arah aliran airtanah dari Baratdaya dan Tenggara menuju ke Utara.

Berdasarkan pada arah aliran dan penampang hidrogeologi, maka dapat diperkirakan daerah imbuhan (recharge) berasal dari daerah Baratdaya daerah penelitian. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu bahwa wilayah imbuhan daerah penelitian berasal dari sebelah Baratdaya kurang lebih 28 km yaitu Gunung Tampomas (1614 m dari permukaan laut).

Untuk mendapatkan nilai-nilai parameter ketersediaan airtanah sebagai masukan dalam model optimasi yang terdiri dari transmisivitas (T), koefisien daya simpan (S), resapan (R) dan head (h) perlu dilakukan simulasi terhadap aliran airtanah dengan menggunakan perangkat lunak yang terdiri dari: Processing Modflow Versi 3.0, Visual Modflow Versi 2.6, Surfer Versi 5.0 dan Corel Draw 7.0.

Perbedaan head airtanah hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan nilai-nilai transmisivitas dan koefisien daya simpan pada sumur-sumur produksi di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Perbedaan head airtanah hasil pengukuran dan simulasi

Sumur bor	Tinggi muka airtanah (m) (dpl)	
	Pengukuran	Simulasi
TW- 01	28,14	26,63
TW- 88	18,87	19,96
TW- 89	35,79	33,99
TW-107	36,24	35,03
TW-108	27,28	25,89
TW-116	35,56	33,56
TW-124	37,86	36,92
TW-132	26,70	28,54
TW-133	28,31	26,83
TW-135	18,29	19,94
TW-136	29,58	30,09
TW-137	29,22	31,21

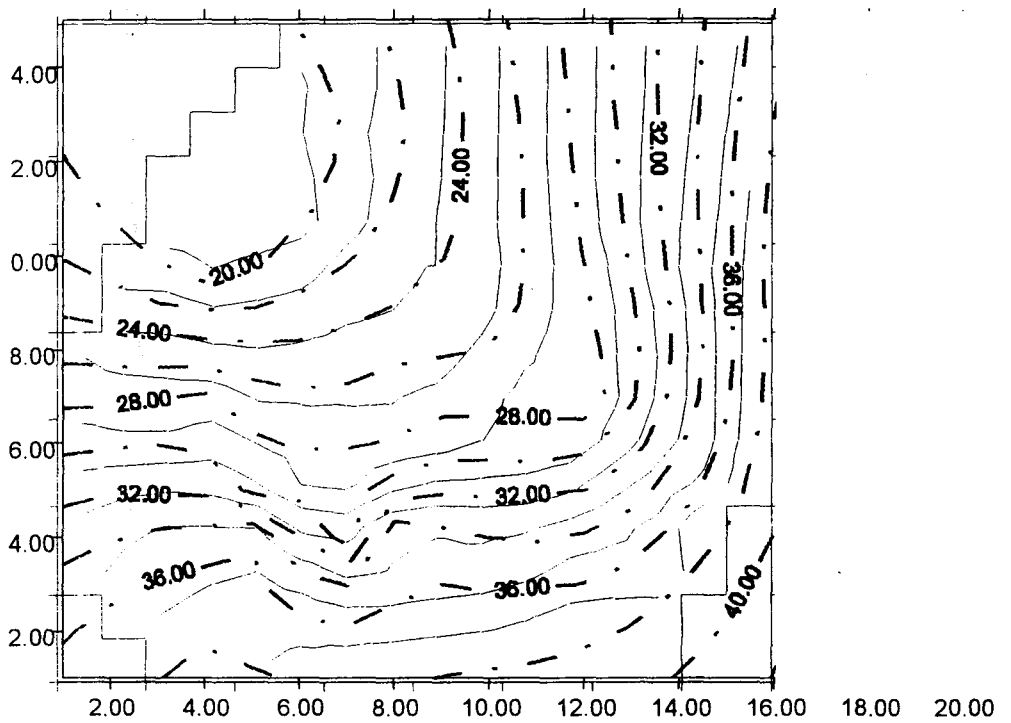
Besarnya perbedaan (kesalahan) dapat dihitung dengan tiga cara, yaitu:

- Kesalahan rata-rata (*mean error*) sebesar 0,26 meter.
- Kesalahan mutlak rata-rata (*mean error absolut*) sebesar 1,62 meter.
- Kesalahan akar kuadrat rata-rata (*root mean squared*) sebesar 1,52 meter.

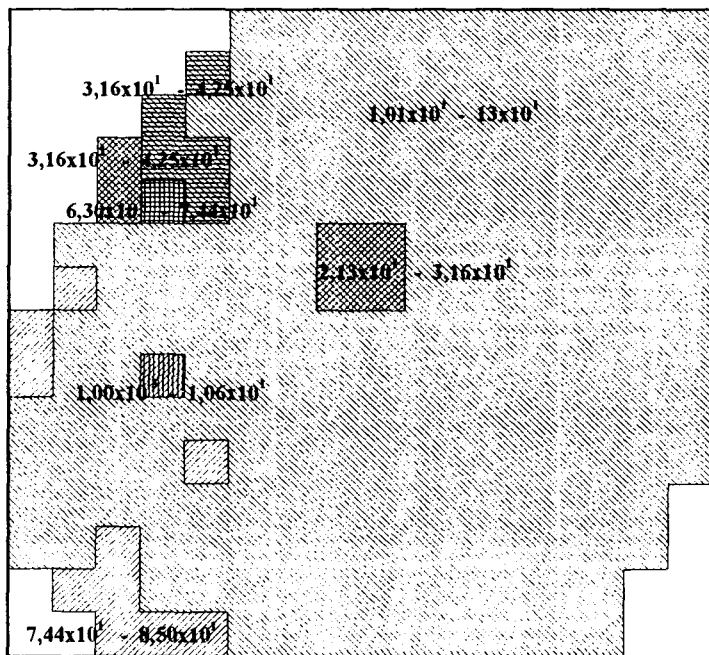
Analisis regresi muka airtanah hasil simulasi (Y) terhadap muka airtanah pengukuran (X) menunjukkan bahwa persamaan regresi $Y = 0,99 X$ mempunyai koefisien korelasi $r = 0,96$. Dengan demikian muka airtanah hasil simulasi dengan muka airtanah pengukuran mempunyai tingkat hubungan keeratan sangat besar dan hasil simulasi yang terkalibrasi dianggap memenuhi syarat.

Tabel 2. Nilai transmisibilitas (T) dan koefisien daya simpan (S) di sekitar daerah penelitian

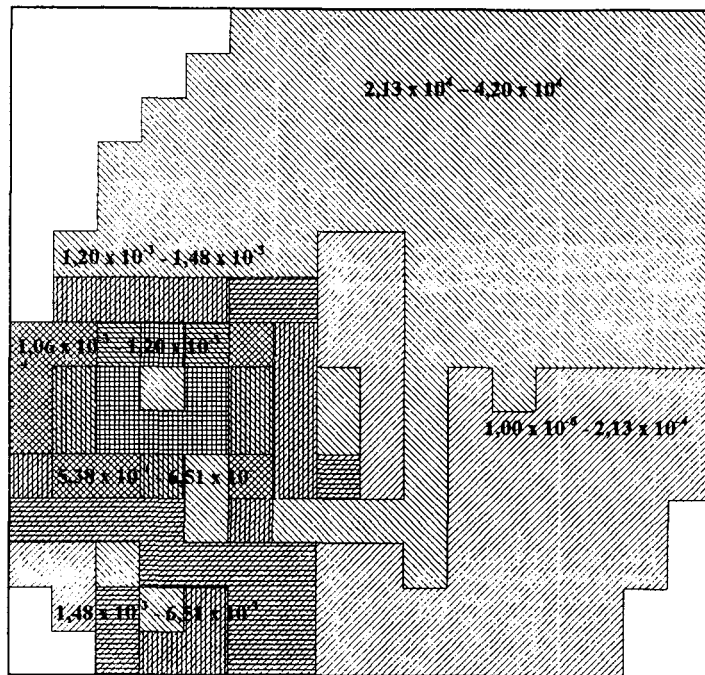
No	Lokasi	Sumur bor	transmisibilitas (T) (m^2 /hari)	koefisien daya simpan
1	Babakan	TW- 01	99,00	$3,30 \times 10^{-5}$
2	Pasir Ipi	TW- 88	26,40	$3,96 \times 10^{-4}$
3	Benggala	TW- 89	132,00	$3,30 \times 10^{-5}$
4	Mekarjaya	TW- 107	613,00	$3,30 \times 10^{-5}$
5	Babakan	TW- 108	141,90	$1,65 \times 10^{-4}$
6	Palasah	TW- 116	99,00	$1,65 \times 10^{-4}$
7	Kertajati	TW- 132	39,60	$8,96 \times 10^{-5}$
8	Mekarmulya	TW- 133	1320,00	$1,32 \times 10^{-4}$
9	Sukakarta	TW- 135	25,40	$9,57 \times 10^{-5}$
10	Kertasari	TW- 136	689,70	$3,30 \times 10^{-2}$
11	Kertamulya	TW- 137	135,00	$3,30 \times 10^{-5}$
12	Mekarjaya	TW- 124	224,40	$3,30 \times 10^{-5}$



Gambar 1. Peta Hidrogeologi daerah Penelitian



Gambar 2. Sebaran nilai Transmisivitas Akuifer (T) (m^2/hari)



Gambar 3. Sebaran Nilai Koefisien Penampungan

KESIMPULAN

Permodelan aliran airtanah dengan menggunakan metoda beda hingga di Kecamatan Kertajati, Kabupaten Majalengka dengan kondisi akuifer sebagai berikut:

- Di daerah tersebut terdapat dua jenis akuifer, yaitu akuifer bebas (dangkal) dan akuifer tertekan (dalam). Akuifer bebas berupa lapisan lempung pasir, tufaan dan pasir. Pemanfaatan akuifer bebas dalam bentuk sumur gali untuk keperluan sehari-hari dan sumur pantek dimanfaatkan untuk keperluan irigasi. Sedangkan akuifer

dalam dimanfaatkan sebagai sumber air irigasi berupa sumur bor.

- Pada akuifer bebas, airtanah bebas mempunyai kedalaman 8 – 16 meter dari permukaan tanah setempat, sedangkan akuifer tertekan mempunyai tinggi head antara 20 – 38 meter dari permukaan laut dengan arah aliran airtanah dari Baratdaya dan Tenggara menuju ke Utara.
- Sebaran nilai transmisivitas (T) daerah penelitian berkisar antara 25,40 m²/hari sampai 1320,00 m²/hari dan koefisien daya simpan (S) berkisar 3,30 x 10⁻² sampai 1,39 x 10⁻³.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M.P. dan W.W. Woessner (1992), *Applied Groundwater Modelling Simulation Flow and Advective Transport*, Academic Press, Inc., California, 1 – 285
- Erdelyi, M. dan J. Galfi (1988), *Surface and Subsurface Mapping in Hydrogeology*, Akademiai Kiado, Budapest, 22 – 26
- Finney, B.A., Samsuhadi, R. Willis (1992). Quasi three dimensional optimization model of Jakarta Basin, *Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers*, **118 (1)**, 18 – 31
- Gibbons, R.D. (1994), *Statistics Methods for Groundwater Monitoring*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 27 – 34
- Hendrayana, H. (1994), *Groundwater Modelling*, Department of Geology, Faculty of Engineering, Unhas, Ujungpandang, 1 – 38
- Kinzelbach, W. (1986), *Groundwater Modelling*, Elsevier, Stuttgart, 168-173
- Mc Donald dan A.W. Harbaugh (1984), *A Modular Three Dimensional Finite Difference Ground Water Flow Model*, USGS National Center, Virginia, 7 – 52
- Todd, D.K. (1995), *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 146 – 172
- Wang, H.F. dan M.P. Anderson (1982), *Introduction to Groundwater Modelling*, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1 – 91